

На правах рукописи

КОМАРОВА Надежда Анатольевна

**«ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВЛИЯНИЯ
ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ НА АГРОХИМИЧЕСКИЕ И
БИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДЕРНОВО –
ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЫ»**

Специальность 03.00.16 - экология

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Казань - 2005 год

Работа выполнена во Всероссийском научно-исследовательском институте агрохимии имени Д.Н. Прянишникова (ВНИИА)

Научный руководитель : доктор сельскохозяйственных наук
Овчаренко М.М.

Официальные оппоненты : доктор биологических наук, профессор
Чернов Игорь Анатольевич

доктор сельскохозяйственных наук
Алиев Шамиль Арифович

Ведущее предприятие : ГУ Татарский научно-исследовательский институт агрохимии и почвоведения РАСХН

Защита состоится « ____ » _____ 2005 г. в 14.00 часов на заседании диссертационного совета Д. 212.081.19 при Казанском государственном университете имени В.И. Ульянова – Ленина (КГУ) по адресу: 420008, г. Казань, ул. Кремлевская д. 18.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке имени Н.И. Лобачевского Казанского Государственного университета

Автореферат разослан « ____ » _____ 2005 года

Ученый секретарь
диссертационного Совета,
доктор химических наук,

Г.А. Евтюгин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В настоящее время неотъемлемой частью экологических проблем, связанных с охраной окружающей среды, стало изучение загрязнения компонентов биосферы, в том числе почвы и растений, тяжелыми металлами (ТМ), которые наносят существенный вред агроценозам. В России выявлены площади почв, загрязненных Cd, Pb, Zn и Cu, составляющие соответственно 184, 519, 326 и 1416 тыс. га (Овчаренко и др. 1997), причем с каждым годом доля загрязненных почв увеличивается, что создает опасность вывода таких земель из сельскохозяйственного оборота.

Ущерб, наносимый загрязнением, будет в большой степени зависеть от свойств почв, и главным образом от тех, которые влияют на подвижность ТМ и, как следствие, на миграцию по почвенному профилю и накопление в растениях. Исходя из этого, очевидна актуальность разработки научно обоснованных агрохимических приемов детоксикации ТМ при загрязнении ими почв для получения экологически безопасной растениеводческой продукции.

Агрохимические средства снижают негативное влияние ТМ несколькими путями, в том числе инактивацией их в почве и усилением физиологических барьерных функций растений, препятствующих поступлению в них ТМ, что сопровождается оптимизацией питания растения, и как следствие улучшением биологической обстановки в почве. Эта экологическая функция, а именно улучшение биологической активности почвы, загрязненной ТМ под действием агрохимических средств пока не имеет достаточного экспериментального подтверждения. Исследованиями выявлено, что некоторые показатели биологической активности, в том числе ферментативная активность почв, при возникновении в почве стрессовой ситуации изменяются раньше, чем другие почвенные характеристики, например, агрохимические (Галстян А.Ш., 1980; Звягинцев Д.Г., 1989). В связи с этим необходимо выявить степень негативного влияния ТМ на активность ферментов в почве.

Цель и задачи исследований Целью исследований явилось изучение влияния агрохимических средств (органических, минеральных, известковых удобрений и их сочетаний) на физико-химические и биологические свойства дерново-подзолистой супесчаной почвы, загрязненной тяжелыми металлами. В задачи исследований входило:

1. Изучить влияние агрохимических свойств почвы, применения навоза, известковых и минеральных удобрений на подвижность и трансформацию тяжелых металлов в дерново-подзолистой супесчаной почве;
2. Выявить распределение ТМ по почвенному профилю в зависимости от физико-химических свойств почвы;
3. Исследовать действие загрязнения почвы Cd, Zn, Cu и Pb на урожайность и качество продукции картофеля, лука, свеклы и капусты;
4. Изучить влияние последствий агрохимических средств на уреазную, инвертазную и фосфатазную активность почвы при выращивании картофеля, лука, свеклы и капусты;

Научная новизна. Установлено, что агрохимические средства (органические, минеральные и известковые удобрения) в последствии не только непосредственно инактивируют ТМ в почве, но и опосредованно проявляют защитные экологические свойства (снижают отрицательное действие ТМ) по отношению к активности ферментов. Показано, что степень влияния агрохимических средств на снижение угнетения ферментов различна, максимальные протекторные свойства отмечаются на фоне сочетания «навоз + известь + NPK».

Проведено сравнительное изучение действия повторного известкования и применения органических и минеральных удобрений в последствии на транслокацию Cd, Zn, Cu и Pb в почве и в растениях картофеля, лука, свеклы и капусты и их влияние на урожай, и качество продукции. Показано, что существенного снижения подвижности металлов в почве и их поступления в растения можно достичь при периодическом известковании и использовании извести в сочетании с навозом. Установлены различия в характере действия

агрохимических средств на свойства почв, в том числе содержание и качество гумуса. Изучена миграция ТМ по профилю в зависимости от агрохимических свойств почвы. Установлен ряд активности поглощения ТМ на дерново-подзолистой почве.

Практическая значимость работы Полученные результаты позволяют дать практические рекомендации по использованию показателей активности фермента уреазы с целью диагностики загрязнения дерново-подзолистой почвы ТМ. Разработаны агрохимические приемы по рекультивации загрязненных почв и определены уровни реакции среды, обеспечивающие снижение подвижности ТМ и получение экологически безопасной растениеводческой продукции. Полученные результаты могут стать научной базой для разработки нормативов и агрохимических приемов коренного улучшения плодородия загрязненных почв.

Установлена высокая устойчивость картофеля к загрязнению почвы Cd, Zn, Cu и Pb, что позволяет обосновывать возможность его возделывания в условиях высокой степени загрязнения ТМ почвы. Изучение миграционных процессов соединений Cd, Zn, Cu и Pb даёт возможность прогнозировать поступление данных элементов из почвы в сопредельные среды, в частности грунтовые воды.

Апробация работы Результаты исследований доложены на научно-практических конференциях ВИУА в 2002, 2003, 2005 г.г; на Международном симпозиуме «Последствие удобрений и его прогнозирование», ВНИПТИ-ХИМ, 2003 г.; на Международной научно-методической конференции «Актуальные проблемы и перспективы развития агропромышленного комплекса», посвященной 60-летию Победы в Великой отечественной войне и 75-летию Ивановской ГСХА, 2005 г.

Публикации По результатам диссертационной работы опубликовано 9 научных работ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов, списка использованной литературы (190 наименования, из них 21 на иностранных языках) и приложений. Общий объем работы 150 страниц. Работа содержит 41 таблицу (из них 3 в приложениях).

Содержание работы

1. Тяжелые металлы в системе почва - растение.

В этой главе на основании имеющихся в литературе сведений рассмотрено влияние экологических и антропогенных факторов на параметры плодородия почв, источники загрязнения почв ТМ, их миграция по почвенному профилю, действие ТМ на физико-химические и биологические свойства почв и накопление в растениях. Изложено и критически осмыслено влияние агрохимических приемов на детоксикацию загрязненных почв и нормирование содержания ТМ в них. Проведенный обзор литературы позволил определить задачи и цели исследований.

2. Объекты и методы исследований

2.1. Природно-климатические условия Владимирской области

Владимирская область расположена в центральной части Русской равнины. Большая часть территории области занята Мещерской низменностью, представляющей собой равнину с абсолютными высотами 130-140 м.

Естественное плодородие земель невысокое: содержание гумуса - не более 2%, неблагоприятный гранулометрический состав, повышенная кислотность (pH_{KCl} 4,3-5,0), обедненность элементами питания.

В годы проведения исследований метеорологические условия незначительно отличались от средних многолетних. В 2000 году формирование вегетативной массы проходило при недостатке влаги. Температурный режим был ниже среднемноголетних величин. 2001 год – был жарким и сухим во второй половине июня. Дефицит влаги в это время был, особенно ощутим. Период созревания проходил при хорошей обеспеченности влагой, но температуре

воздуха ниже средних многолетних значений. Погодные условия вегетационного периода 2002 г. были благоприятными: $t^{\circ}\text{C}$ на 2-4° выше среднемноголетней, сумма осадков – на уровне многолетних величин (но по периодам вегетации распределялась крайне неравномерно). Первая половина лета 2003 года характеризовалась теплым и влажным климатом. Из-за большого количества осадков посадки лука на нескольких вариантах вымокли. Вторая половина лета была жаркой и сухой. Средняя температура в мае $+15^{\circ}\text{C}$, в июне $+21^{\circ}\text{C}$, в июле $+22,5^{\circ}\text{C}$, в августе $+21^{\circ}\text{C}$. Из 170 дней за вегетационный период с осадками было 59 дней.

2.2. Объекты и методы исследований

Разработка мероприятий по снижению токсичности ТМ является приоритетным в решении задач по оценке и прогнозу загрязненности почв и растений тяжелыми металлами. Наша работа касается решения этих вопросов для овощных культур, как наиболее отзывчивых к накоплению ТМ. Для решения поставленных вопросов в 1994 году, согласно методическим указаниям, утвержденным МСХ РФ 18.05.1993 г., заложен микрополевой опыт в п. Вяткино Судогодского р-на Владимирской области. Почва дерново-подзолистая супесчаная. Опыт проводится в 5-ти кратной повторности, в сосудах из винипласта без дна, размером 36 см х 36 см, высота 30 см. Сосуды установлены с наполнением их почвой пахотного слоя на глубину 25 см.

Исходная агрохимическая характеристика почвы оценивалась как сильнокислая, рН - 4,1; содержание подвижного фосфора 35,2 мг/кг, обменного калия – 125,5 мг/кг почвы, количество ТМ находилось на уровне регионального фона и характеризовалась как незагрязненная.

В 1-ый год под все культуры в почву вносили $\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$ в качестве фона (кроме контроля). В 7-ом варианте внесена двойная доза NPK. В последующем вносили минеральные удобрения на запланированный урожай в форме нитрофоски в дозах (в кг д.в.): капуста и лук – $\text{N}_{120}\text{P}_{100}\text{K}_{120}$; свекла – $\text{N}_{120}\text{P}_{80}\text{K}_{80}$;

картофель – $N_{90}P_{90}K_{120}$. Органические удобрения применялись в форме перепревшего навоза в дозе 60 т/га. Известковые удобрения (доломитовую муку) использовали в дозе 10 т/га (по 2,0 г.к). В 2001 г. проведено на трех повторностях опыта известкование дозой 10 т/га, тем самым изучение транслокации ТМ в опыте проводится на известкованном и неизвесткованном фонах.

Тяжелые металлы вносили в виде растворов (1:10) водо-растворимых чистых солей, в дозе из расчета на чистый металл: Cd - 5 мг/кг; Zn – 300; Cu – 150; Pb – 100 мг/кг почвы.

Схема опытов

Проведено известкование	Без известки
1. Контроль (абсолютный)	1. Контроль (абсолютный)
2. NPK - фон	2. NPK - фон
3. Фон + ТМ (Cd, Cu, Pb, Zn)	3. Фон + ТМ (Cd, Cu, Pb, Zn)
4. Фон + ТМ + известь	4. Фон + ТМ + известь
5. Фон + ТМ + навоз	5. Фон + ТМ + навоз
6. Фон + ТМ + навоз+ известь	6. Фон + ТМ + навоз +известь
7. $N_2P_2K_2$ + ТМ	7. $N_2P_2K_2$ + ТМ

В качестве объектов исследований выбраны: капуста – «Грибовская ранняя»; картофель – «Невский»; лук – сорт «Стригуновский»; свекла столовая – сорт «Бордо».

В опыте проводили отбор почвенных образцов в 4-х кратной повторности; растительных образцов основной и побочной продукции; фенологические наблюдения; полив растений производили дистиллированной водой. С целью изучения миграции ТМ в сосудах отбирались пробы послойно до 1 м специальным буром. Проведение химических анализов в почвах проводился по соответствующим ГОСТам и ОСТам, гумус – по Тюрину, фракционный состав гумуса по Орлову с соавт (1969). Анализ содержания ТМ - методом атомно-абсорбционной спектроскопии в соответствии с методическими указаниями ЦИНАО (1992). Активность ферментов определяли по методу Галстяна (Практикум по агрохимии, 2001). Статистическую обработку результатов исследований проводили дисперсионным методом по Доспехову Б.А. (1985).

3. Агроэкологические аспекты транслокации тяжёлых металлов в почве и растениях

3.1. Влияние агрохимических приёмов на физико-химические свойства дерново-подзолистой почвы, загрязнённой тяжёлыми металлами

Наибольший сдвиг реакции среды отмечен на фоне извести (4 и 6 вар.) - pH_{KCl} близкий к нейтральному; в вариантах без извести - pH 3,9 – 4,1. Существенное подкисление (с pH 4,2 в 1994 г. до pH 3,8 в 2000 г.) произошло на фоне 2NPK (табл.1). Внесение навоза без извести не привело к снижению кислотности – величина pH 4,0- 4,1. Содержание фосфора и калия в почве увеличивалось в зависимости от дозы внесения минеральных удобрений.

С 2002 г. изучалось действие факторов детоксикации на известкованном и неизвесткованном фоне. Известкование почвы обусловило значительное снижение кислотности среды: на всех вариантах уровень $pH_{сол.}$, в том числе на контроле, находился в интервале – 6,4 – 6,7. Аналогичные закономерности отмечались в отношении гидролитической кислотности, существенно увеличилась сумма поглощенных оснований, в 4 и 6 вар. эти показатели достоверно выше в сравнении с другими вариантами опыта. На неизвесткованных повторностях опыта, реакция среды характеризуется как кислая, лишь на фоне внесения извести (4 вар.) и совместного её применения с навозом (6 вар.) – как слабо кислая – 5,1-5,4 (табл.1).

Результаты показывают, что на почве с кислой реакцией среды, применение извести с целью снижения подвижности ТМ четко определено (табл.2). Действие навоза для снижения подвижности ТМ было недостаточно заметным. Внесение только извести и совместно с навозом (4 и 6 вар.) привело к увеличению валового содержания ТМ по сравнению с 3, 5 и 7 вариантами: содержание Zn - 253 мг/кг почвы, а в остальных вариантах 114 - 145 мг/кг почвы, максимум содержания Cd составил 10,7 мг/кг почвы, в вариантах, где не вносилась известь 5,3 - 6,5 мг/кг почвы. Применение «извести + навоз» достоверно уменьшало количество подвижных соединений Zn и Cu.

Таблица 1

Влияние приемов детоксикации почв, загрязненных ТМ, на динамику кислотности дерново-подзолистой почвы, 2003 г.

Вариант	1999	2001 г		2003 г.		2003 г.					
	рН					Нг		Са		Mg	
						мг-экв / 100 г почвы					
		из- весть	Б/ из- вести	из- весть	Б/ из- вести	из- весть	Б/ из- вести	из- весть	Б/ из- вести	из- весть	Б/ из- вести
1. контроль	4,2	6,7	4,2	6,6	4,3	0,9	3,6	3,6	2,0	1,7	0,63
2.NPK + фон	4,0	6,5	3,9	6,5	3,9	1,1	3,9	3,8	1,8	1,8	0,59
3. фон +ТМ	4,0	6,5	3,8	6,6	3,8	1,2	4,1	3,8	1,9	1,7	0,51
4. фон + ТМ + известь	6,0	6,6	5,3	6,6	5,1	0,7	1,1	4,3	3,3	2,1	1,7
5. фон +ТМ + навоз	4,0	6,4	3,9	6,4	3,9	1,3	4,0	4,1	2,0	1,7	0,55
6.фон+ТМ+навоз+известь	5,9	6,6	5,5	6,6	5,3	0,8	1,4	4,6	3,3	2,0	1,75
7. N ₂ P ₂ K ₂ +ТМ	3,8	6,4	4,2	6,4	4,3	1,4	4,3	3,9	1,7	1,6	0,52
НСП ₀₅	0,15	0,2	0,15	0,2	0,2	0,3	0,5	0,3	0,3	0,2	0,2

Таблица 2

Влияние известковых, органических и минеральных удобрений
на содержание тяжелых металлов в почве (мг/кг почвы), 2003 год

№ варианта	Валовые формы ТМ				Подвижные формы ТМ			
	Cd	Cu	Pb	Zn	Cd	Cu	Pb	Zn
Контроль	0,4	6	10	25	0,07	1,3	2,0	2,4
НРК+фон	0,3	5	9	23,0	0,05	1,5	1,3	1,7
фон +ТМ	5,6	99	125	126	3,9	55	78	89
фон +ТМ+ известь	10,5	115	139	253	6,1	45	78	72
фон +ТМ + навоз	6,5	96	134	145	4,9	58	78	94
фон +ТМ +навоз +известь	10,7	111	139	251	6,3	49	75	78
N ₂ P ₂ K ₂ +ТМ	5,4	97	134	114	4,1	60	76	79
НСР ₀₅	0,2	5,2	8,6	14,0	0,1	0,6	2,0	1,6

Использование мелиорантов не существенно снижало подвижность Cd и Pb по сравнению с 3-им вариантом. Доля подвижных соединений ТМ от валового их содержания находится в тесной зависимости от реакции среды : по Cd на фоне извести она составляет 64%, а на фоне 2NPK без извести – 75%, соответственно по Zn -27 и 69%, по Cu -41 и 60%; соотношение содержания различных форм Pb мало зависело от уровня pH, на известкованном и неизвесткованном фоне составляло соответственно 57 и 58%.

Чтобы оценить доступность ТМ растениям и их миграционную способность по профилю почвы, в почве определяли коэффициенты подвижности ТМ. В 3, 5 и 7 вариантах, в условиях кислой среды без применения извести, подвижность ТМ гораздо выше, чем в вариантах, где вносилась известь: по Cd он составляет от 72-77%, а в 4 и 6 вариантах 65%, по цинку - 65-67% и 27-29% соответственно. Таким образом, снижением кислотности среды с 4,0 до 6,5 можно уменьшить подвижность ТМ в 1.5-2 раза. По степени подвижности изучаемые элементы располагаются в следующем порядке: кадмий > цинк > медь > свинец.

Изучение миграции ТМ и изменения агрохимических свойств известкованной почвы показало, что реакция среды на контроле, в варианте «NPK+ТМ», «NPK+ТМ+навоз» в пахотном горизонте находится в пределах 3,8 - 4,4, на фоне «NPK+ТМ+ известь» и «NPK+ТМ + известь +навоз» - 5,8. Максимальное содержание подвижного фосфора находится в пахотном слое, в подпахотном - его содержание на контроле снижается почти в 2 раза, а на вариантах с внесением NPK и извести более чем в 5 раз и к отметке 80-100 см величина P_2O_5 достигает до 5 мг/кг почвы. Содержание обменного калия хоть и снижается в 2 и более раз, однако, в дальнейшем по горизонтам оно определяется на уровне подпахотного горизонта.

Выявлено, что Cd и Zn в основном накапливаются в пахотном и подпахотном горизонтах. Эти элементы сохраняют высокую концентрацию во всех нижележащих горизонтах. Cu и Pb накапливаются в слое 0 - 20 см, в подпахотном горизонте концентрация элементов снижается, и к отметке 1 м достигает малых величин, практически не отличающихся от контроля.

При известковании почв (4 и 6 вар.) максимальное содержание всех ТМ отмечено только в пахотном горизонте, в остальных - находится практически на уровне контрольного варианта. Выявленные закономерности отмечены при определении, как валового содержания, так и количества подвижных форм изучаемых элементов.

На известкованной почве на всех вариантах уровень реакции среды практически одинаковый, существенная разница отмечена лишь по содержанию фосфора и калия. Определение содержания ТМ показало, что условия реакции среды существенно влияют на трансформацию их соединений, что приводит к значительному снижению подвижности ТМ в почве. При уровне $pH > 5,5$ повышенное содержание фосфора также проявляет детоксикационный эффект. Выявлено, что наиболее сильно связывается почвой Pb и Cu, для них характерно более существенное уменьшение подвижности, чем для Cd и Zn.

Таблица 3

Влияние тяжелых металлов на ферментативную активность почвы

Варианты опыта	Инвертазная активность				Уреазная активность				Фосфатазная активность			
	мг глюкозы / 1 г почвы за 24 ч				N-NH ₄ ⁺ /10 г почвы за 24 ч				мг P ₂ O ₅ /10 г почвы			
	под луком	под капу- стой	под свек- лой	под карто- фелем	под луком	под капу- стой	под свек- лой	под карто- фелем	под луком	под капу- стой	под свек- лой	под карто- фелем
контроль	5,5	5,9	4,9	5,7	29,0	28,3	26,8	28,1	5,4	6,8	5,0	6,0
NPK	7,1	6,8	6,1	7,0	41,5	43,7	35,3	43,3	7,2	7,3	6,2	7,1
NPK +TM	5,9	6,1	5,8	6,6	28,8	39,8	32,7	35,5	6,9	6,9	5,6	6,4
NPK +TM + известь	7,1	8,3	6,2	7,9	39,1	49,6	44,1	47,8	7,5	7,9	6,5	7,2
NPK+TM+ навоз+известь	8,4	8,8	7,4	8,6	54,0	56,6	56,8	58,4	8,2	8,7	7,1	7,8
NPK+TM+ навоз	6,9	7,1	6,2	7,6	42,3	46,4	45,2	44,2	6,9	7,3	6,4	6,6
2 NPK +TM	7,2	7,9	6,7	6,9	47,6	42,7	42,4	49,2	8,1	8,6	7,6	8,0
HCP ₀₅	0,5	0,7	0,7	0,5	2,1	1,4	2,1	3,1	0,7	0,6	0,6	0,6

Таким образом, при загрязнении ТМ почв проведение известкования обеспечивает снижение подвижности ТМ в 1.5-2 раза. Положительное действие извести усиливается при совместном внесении ее с навозом.

3.2. Ферментативная активность дерново-подзолистой супесчаной почвы при загрязнении ее тяжелыми металлами

На известкованной почве проведено исследование активности ферментов группы гидролаз: уреазы, инвертазы и фосфатазы. Применение удобрений способствует возрастанию активности ферментов, что связано, по-видимому, с увеличением биомассы изучаемых культур, вследствие улучшения условий питания растений и жизнедеятельности микрофлоры (табл. 3).

Токсическое действие ТМ проявляется на фоне NPK (3 вар.): для картофеля снижение уровня ферментативной активности инвертазы, уреазы и фосфатазы было соответственно на 6, 18 и 11%; для свеклы на 5, 8 и 10%; для лука – на 17, 30 и 4%; для капусты – на 10, 9 и 5% соответственно. Самая высокая уреазная активность у всех культур наблюдалась на фоне «навоз + NPK+известь»: для картофеля, свеклы, лука и капусты увеличение активности было соответственно в 2,0, 2,1, 1,9 и 2,6 раза. Существенно ниже (соответственно на 16 - 24%) значения показателя были на органическом и минеральном фонах.

Внесение 2NPK (7 вар.), является мощным детоксицирующим фактором: активность уреазы под всеми культурами практически не отличается от наилучшего варианта (NPK + известь +навоз). По интенсивности положительного воздействия на активность уреазы удобрения можно расположить в следующем порядке: известь + навоз > 2NPK > известь > навоз.

Изменение агрохимических свойств почвы положительно сказалось на инвертазной активности. Наименьшее угнетение фермента наблюдалось под картофелем. Под всеми культурами наблюдалась следующая закономерность: самая высокая активность фермента отмечена на фоне «NPK + навоз + известь», повышение показателя в сравнении с контролем было в 1,6 - 1,5 раза,

на фоне навоза - в 1,3 раза. По степени протекторного действия на активность инвертазы агрофоны расположились в следующий ряд: «навоз + NPK + известь» > известь > (2NPK) > навоз. Выявлено, что в условиях загрязнения почвы при уровне содержания подвижного фосфора 115 мг/кг почвы под всеми культурами обнаруживается тесная зависимость с активностью фосфатазы ($r = \text{от } 0,85 \pm 0,05 \text{ до } 0,91 \pm 0,07$). Ингибирование фермента носило характер тенденции, достоверного снижения по сравнению с контролем и незагрязненным фоном не установлено.

Таким образом, агрохимические средства в последствии не только непосредственно инактивируют ТМ в почве, но и опосредованно проявляют защитные экологические свойства по отношению к активности ферментов.

3.3. Влияние агрохимических средств на содержание и свойства гумуса дерново-подзолистой почвы, загрязненной тяжелыми металлами.

Изучение группового и фракционного состава гумусовых соединений показало (табл.4), что отмечается увеличение доли подвижной фракции в сумме ГК, наименьшее ее содержание - на контроле. На вариантах, где вносили навоз и NPK (6, 3 и 7 вар), увеличивается доля этой фракции в общей сумме ГК. На фоне извести, как отдельно, так и совместно с и навозом (4 и 6 вар.), отмечается наибольшее количество подвижной фракции ГК, происходит увеличение суммы ГК (с 29,5 до 31,8 и 32,1 соответственно) и количества ГК, связанных с кальцием (фракция 2), снижается содержание ГК фракции 1, связанных с полуторными окислами. В целом выход ГК увеличивается.

Содержание «агрессивной» фракции -1а фульвокислот (ФК) практически не изменяется под действием навоза, но существенно возрастает при внесении NPK (3 и 7 вар.)— соответственно с 5,61 до 6,29 и 6,31.

Сумма ГК и ФК по фракциям составляет 55,1-61,8 % от общего углерода гумуса. Из соотношения $C_{гк}/C_{фк}$ следует, что во всех вариантах опыта (за исключением контроля) органическое вещество носит фульватно-гуматный характер и изменялось от 0,95 до 1,06, наилучший качественный состав гумуса-

Таблица 4

Изменение фракционного состава гумуса дерново-подзолистой супесчаной почвы, загрязненной тяжелыми металлами, при использовании различных агрохимических средств (2003 г.)

№	Варианты опыта	С в поч- ве, %	С гуминовых кислот, %				С фульвокислот, %					сумма	$\frac{ГК}{ФК}$	Негидро- лизующий остаток	P _г
			1	2	3	всего	1а	1	2	3	все- го				
1	контроль	1,35	13,0	5,4	8,4	26,8	5,6	11,6	5,2	6,1	28,3	55,1	0,95	44,9	0,58
2	NPK	1,37	13,1	6,1	10,3	29,5	6,12	8,89	7,6	5,8	28,4	57,9	1,04	42,1	0,64
3	NPK +TM	1,38	12,8	6,4	10,1	29,3	6,29	8,61	8,0	5,6	28,5	57,8	1,03	42,2	0,67
4	NPK +TM +известь	1,37	10,7	7,7	13,4	31,8	5,51	10,9	9,5	3,8	29,7	61,5	1,07	38,5	0,61
5	NPK +TM+ навоз	1,42	10,4	6,9	11,9	29,2	5,58	8,01	8,5	5,9	28,0	57,2	1,05	42,8	0,72
6	NPK +TM + навоз + известь	1,45	10,8	7,8	13,5	32,1	5,45	10,8	9,8	3,7	29,7	61,8	1,08	38,2	0,56
7	2 NPK +TM	1,36	12,4	6,2	10,3	28,9	6,31	9,69	7,2	5,4	28,6	57,5	1,02	42,5	0,70
	HCP ₀₅	0,05	0,6	0,7	0,5	1,2	0,21	0,5	0,5	0,7	1,3	1,87	0,03	0,8	0,11

в вариантах, где вносили навоз (5 и 6 вар.).

Таким образом, в условиях загрязнения почв ТМ, известкование способствует улучшению качества гумуса, приводит к увеличению содержания ГК вообще и ГК, связанных с кальцием. Аккумуляция гумуса, наблюдаемая в пахотном горизонте исследуемой почвы отмечается изменением его качественного состава, выражающимся в уменьшении доли агрессивных ФК.

4. Агроэкологические аспекты формирования продуктивности овощных культур на почвах, загрязненных тяжелыми металлами

4.1. Влияние агрохимических свойств дерново- подзолистой почвы, загрязненной тяжелыми металлами, на рост и развитие растений

Изменения агрохимических свойств почвы, действие ТМ, погодные условия вегетационного периода существенно отразились на развитии культур, что проявляется на ранних стадиях. На известкованной почве в 3, 5 и 7 вариантах отмечается гибель растений капусты и свеклы. У картофеля на всех вариантах наблюдается формирование растений, однако на фоне NPK и навоза отмечается низкая высота растений. На известкованной почве внесение извести и сочетание её с навозом обусловило увеличение размера качана в 2-3 раза, у картофеля, лука и свеклы отмечаются также лучшие показатели высоты растений – лишь на 10- 12 % ниже, чем в вариантах без ТМ. Действие NPK (3 вар.) на растения капусты было равноценно двойной дозе, а у картофеля отмечено увеличение высоты растений в 3-4 раза, у лука высота пера увеличилась более чем в 3 раза. У свеклы на всех вариантах опыта отмечается нормальное развитие растений: высота растений (8,2-8,5 см) и размер листьев (29-33 см), т.е. токсичность ТМ не проявилась, различия по вариантам практически не наблюдаются.

4.2. Особенности формирования продуктивности овощных культур на почвах, загрязненных тяжёлыми металлами.

Анализ данных урожая за 1995-2000 г.г. показывает, что в вариантах без извести растения свеклы и капусты погибали, а картофеля и лука давали низкий урожай (данные получены в соавт. с Гришиной А.В., 1999; Комаровым В.И.,

2003). Снижение уровня кислотности почвы обусловило ослабление токсичности ТМ и получение значительного урожая овощных, наиболее эффективным было сочетание извести и навоза.

Обобщение данных (табл. 5) показывает, что на неизвесткованной почве при внесении навоза урожай лука в 6 раз ниже, по сравнению с контролем. Урожай свеклы получен только при внесении извести и в сочетании её с навозом. Урожай клубней картофеля получен на всех вариантах опыта, что характеризует эту культуру, как устойчивую к действию ТМ: на фоне NPK он составил в среднем 398 г/сос. В сравнении с этим вариантом применение «известь + навоз» обеспечило повышение урожая в 1,5 раза. На фоне действия NPK, 2NPK и навоза урожай в сравнении со 2 вар. снизился в 7,7, 11,4 и 10,5 раза соответственно.

На известкованной почве урожай лука в 4 вар. и 6 вар. в сравнении со 2 вар. в среднем за 3 года повысился в 7,3 раза, на фоне NPK и 2NPK снизился на 29% и 17% соответственно. Наиболее эффективным в формировании продуктивности картофеля было повторное известкование (4 вар.) – 501 г/сос и при сочетании извести с навозом – 557 г/сос. При внесении NPK и 2NPK и только навоза урожайность клубней снизилась от максимальной соответственно на 54, 30 и 52%. Лучшим вариантом при формировании урожая свеклы был также 6 вар.- 485 г/сос, прибавка по сравнению с NPK была достоверной и составила 78,0 г/сос. На фоне извести и 2NPK урожай свеклы ниже на 23% и 30% соответственно. При возделывании капусты отмечено преимущество повторного известкования (4 вар.), хотя разница по урожаю с наилучшим 6 вар. не достоверна. При использовании NPK, 2NPK и навоза урожайность капусты в сравнении снизилась соответственно в 2,7, 1,7, и 2,5 раза. Проведение повторного известкования (4 вар) в сравнении с контролем обеспечило повышение урожая лука в 2,3, картофеля в 1,8, свеклы в 1,6 и капусты в 1,3 раза, а совместное внесение извести и навоза в 2,8, 2,0, 1,9 и 1,2 раза соответственно.

Сравнение урожайных данных показывает, что увеличение pH с 4,0 до 6,5-6,7 обусловило снижение токсичности ТМ: на фоне NPK у лука, картофеля и ка-

пусты соответственно в 11,0, 5,0 и 16,7 раза; 2NPK - в 9,3, 11,1 и 16,5 раза; извести у лука, картофеля, свеклы и капусты в 1,5, 1,4, 1,9 и 1,5 раза соответственно.

4.3. Влияние агрохимических приёмов на содержание и накопление тяжёлых металлов в растениях при загрязнении почвы Zn, Pb, Cu и Zn

Данные показывают, что на известкованном фоне загрязнение почвы не отразилось на содержании крахмала в картофеле, в вариантах с внесением извести и навоза установлена достоверная прибавка, но существенно сказалось на содержании нитратов в продукции. Выявлено, что внесение навоза и извести, является высокоэффективным приемом снижения поступления в растения ТМ (табл. 6-8).

Определение качества лука показало, что на неизвесткованной почве в сравнении с контролем содержание Pb на фоне NPK, извести, навоза и 2NPK выше соответственно в 3,6, 1,7, 4,8, и 8,7 раза; Zn в 2,2, 1,3, 2,9, и 2,3 раза; по Cd в 2,6, 1,8, 5,0 и 6,2 раза; по Cu 6,8, 1,6, 10,1 и 10,7 раза соответственно, в вариантах с NPK и навозом содержание ТМ превышает ПДК. На фоне извести в сочетании с навозом содержание ТМ практически не отличается от контроля и имеет лучшие показатели по содержанию Pb и Zn (табл.7). На известкованной почве все приёмы были высокоэффективными, и обеспечили, за исключением кадмия, получение чистой продукции.

На неизвесткованной почве отмечается гибель растений свеклы, лишь применение извести (4 вар.) и сочетание ее с навозом обеспечивает получение продукции. На известкованных повторностях опыта выявлена особенность свеклы к большему, по сравнению с другими культурами накоплению Zn, однако в сравнении с 3 вар. внесение отдельно извести и в сочетании с навозом способствовали снижению концентрации Zn в корнях в 1,5 раза (табл. 8)

На кислой почве отмечается в сравнении со 2 вар. в вариантах с NPK, навозом и 2NPK увеличение содержания Zn в 2,5, 2,0 и 2,8; Cd в 2,0, 3,2 и 3,8; Cu в 2,2, 1,4 и 1,9 раза соответственно. Применение извести в отдельности и в сочетании с навозом обусловило качество продукции, за исключением кадмия, не отличающееся от контроля.

Таблица 5

Влияние агрохимических приемов детоксикации почв, загрязненных ТМ, на
продуктивность овощных культур (в среднем за 2001-2003 г.г)

вариант	лук				картофель				свекла				капуста			
	на известко- ванном фоне		без извести		на известко- ванном фоне		без извести		на известко- ванном фоне		без извести		на известко- ванном фоне		без извести	
	г/сос	ц/га	г/сос	ц/га	г/сос	ц/га	г/сос	ц/га	г/сос	ц/га	г/сос	ц/га	г/сос	ц/га	г/сос	ц/га
1. контроль	172	133	118	91	271	208	242	186	256	197	55	42	936	720	202	155
2.NPK +фон	388	298	53	41	502	386	398	306	407	313	-	-	1259	968	15	12
3. фон +ТМ	276	212	25	19	255	196	52	39	245	189	-	-	471	363	25	19
4. фон + ТМ + из- весть	393	302	255	196	501	386	358	276	372	283	193	149	1163	894	795	611
5. фон +ТМ + навоз	320	246	20	16	270	208	38	29	237	206	-	-	513	394	18	14
6. фон + ТМ + навоз + известь	487	374	412	317	557	429	558	429	485	373	387	297	1113	856	922	696
7. N ₂ P ₂ K ₂ +ТМ	325	250	35	27	390	299	35	27	344	265	-	-	693	533	42	32
НСР ₀₅	32,0		19,3		72,1		48,5		52,4				94,1		16,8	

Таблица 6

Влияние уровня загрязнения почв на формирование качества клубней картофеля (в среднем за 2001-2003 г.г.)

вариант	Повторность	Содержание										
		сух. вещества, %	нитратов, мг/кг*	крахмала, %	Тяжелые металлы, мг/кг							
					Pb		Zn		Cd		Cu	
					клубни	ботва	клубни	ботва	клубни	ботва	клубни	ботва
1. контроль	изв	20,5	106	12,9	0,18	0,13	3,67	2,62	0,04	0,34	1,3	1,39
	б/изв	18,7	141	13,4	0,31	0,24	3,88	3,22	0,05	0,92	1,4	1,35
2. NPK + фон	изв	19,0	104	12,5	0,21	0,15	3,52	2,25	0,06	0,15	1,06	0,85
	б/изв	19,1	118	13,2	0,22	0,16	4,14	4,04	0,07	0,94	1,78	0,79
3. фон + ТМ	изв	17,5	196	11,9	0,20	0,20	3,96	3,31	0,09	0,15	2,07	1,45
	б/изв	17,9	189	12,5	0,79	0,47	10,3	16,4	0,21	3,66	4,26	5,3
4. фон + ТМ + известь	изв	19,9	100	13,5	0,27	0,21	4,51	4,17	0,08	0,60	1,75	1,29
	б/изв	19,4	115	13,3	0,50	0,32	6,0	12,9	0,13	1,24	2,78	4,20
5. фон + ТМ + навоз	изв	18,3	158	12,7	0,22	0,22	4,31	5,89	0,12	0,44	1,97	2,02
	б/изв	18,9	153	13,0	0,66	0,37	10,4	16,4	0,3	3,3	4,11	5,3
6. фон + ТМ + навоз + известь	изв	20,7	132	12,1	0,29	0,19	5,23	5,66	0,09	0,56	1,81	1,44
	б/изв	20,4	82	14,1	0,32	0,48	7,91	14,2	0,14	5,03	1,98	5,03
7. N ₂ P ₂ K ₂ + ТМ	изв	17,1	176	12,2	0,30	0,22	4,49	9,5	0,09	0,48	1,98	1,61
	б/изв	18,3	233	12,9	0,43	0,56	7,97	15,09	0,22	3,14	4,08	5,12
НСП ₀₅		1,3	52	1,4	0,08	0,05	1,0	1,4	0,02	0,1	0,07	0,2

*ПДК на нитраты : в клубнях картофеля 300 мг/кг

Таблица 7

Влияние уровня загрязнения почв на формирование качества лука (в среднем за 2001-2003 г.г.)

вариант	Повтор втор- ность	Содержание									
		сух. веще- ства, %	нитратов, мг/кг*	Тяжелые металлы, мг/кг							
				кадмия		меди		свинца		цинка	
				лукови- ца	перо	лукови- ца	перо	лукови- ца	перо	лукови- ца	перо
1. контроль	изв	14,3	133	0,076	0,12	0,90	0,58	0,14	0,77	2,87	2,74
	б/изв	12,1	142	0,108	0,08	0,72	0,28	0,28	0,41	4,32	7,05
2. NPK +фон	изв	14,8	155	0,080	0,72	0,84	0,27	0,19	0,45	2,67	9,52
	б/изв	15,8	134	0,28	-	2,94	-	0,56	-	7,45	-
3. фон +ТМ	изв	15,3	150	0,092	0,19	0,83	1,01	0,18	0,84	3,32	4,92
	б/изв	16,3	138	0,295	-	3,27	-	0,88	-	7,74	-
4. фон + ТМ + известь	изв	13,8	153	0,120	0,15	0,72	0,22	0,24	0,36	3,86	1,45
	б/изв	13,0	187	0,26	0,31	0,73	0,32	0,49	0,34	4,57	8,01
5. фон +ТМ + навоз	изв	15,3	185	0,129	0,31	0,73	0,75	0,26	2,16	8,8	1,1
	б/изв	16,8	152	0,33	-	3,02	-	0,91	-	9,02	-
6.фон + ТМ + навоз + известь	изв	15,2	122	0,102	0,26	0,81	0,28	0,20	0,32	2,67	3,99
	б/изв	12,0	179	0,154	0,19	0,70	0,34	0,29	0,61	3,45	1,35
7. N ₂ P ₂ K ₂ +ТМ	изв	16,8	168	0,127	-	0,86	-	0,27	-	4,35	-
	б/изв	17,3	172	-	-	-	-	-	-	-	-
НСП ₀₅		1,3	1,5	0,08	0,05	0,04	0,05	0,3	0,3	1,6	0,05

*ПДК на нитраты : в луке –50 мг/кг;

*Изв – проведено известкование по всем вариантам; Б/изв – известкование по всем вариантам не проводили;

Таблица 8

Влияние уровня загрязнения почв на формирование качества свеклы (в среднем за 2001-2003 г.г.)

вариант	Повтор втор- ность	Содержание									
		сух. веще- ства, %	нитратов, мг/кг*	Тяжелые металлы, мг/кг							
				кадмия		меди		свинца		цинка	
				корни	листья	корни	листья	корни	листья	корни	листья
1. контроль	изв	18,7	56	0,06	0,26	1,59	1,90	0,12	0,66	8,31	11,8
	б/изв	3,2	14	0,07	0,30	1,64	1,34	0,13	1,71	9,72	18,0
2. NPK +фон	изв	19,1	66	0,08	0,30	1,60	1,70	0,14	1,03	7,18	13,9
	б/изв	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3. фон +ТМ	изв	18,7	172	0,12	0,60	6,3	6,74	0,28	1,23	14,77	15,5
	б/изв	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4. фон + ТМ + известь	изв	17,9	75	0,08	0,55	2,72	2,25	0,17	0,68	10,44	10,7
	б/изв	3,1	13	0,12	0,59	1,77	14,0	0,21	1,66	11,63	16,4
5. фон +ТМ + навоз	изв	18,1	144	0,21	0,69	5,38	13,1	0,25	1,58	18,52	11,6
	б/изв	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6.фон + ТМ + навоз + известь	изв	18,5	83	0,08	0,50	2,61	2,62	0,15	0,78	12,01	8,63
	б/изв	19,8	31	0,12	0,54	2,92	14,55	0,21	1,44	13,74	17,7
7. N ₂ P ₂ K ₂ +ТМ	изв	17,0	285	0,13	0,53	4,72	9,53	0,31	1,30	12,25	10,72
	б/изв	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
НСП ₀₅		1,3	2,1	0,03	0,05	0,2	0,3	0,05	0,06	0,4	1,1

*ПДК на нитраты : в свекле –1400;

Сравнение результатов по содержанию ТМ в продукции лука и капусты показало, что их величины на известкованном фоне соответственно в 2- 8 и 1,9 - 4,0 раза ниже, чем на неизвесткованном. Кроме Cd, ни по одному из элементов не обнаружено превышение ПДК.

Анализ клубней картофеля показал, что отмечается достоверное увеличение накопления ТМ в 3-м и 5-м варианте на неизвесткованной почве, при внесении «известь + навоз», содержание ТМ снижалось на 30-23%. На известкованной почве содержание ТМ в клубнях, в зависимости от варианта снижается в среднем в 1,5 – 3,0 раза, наилучшие показатели в 4 вар. (табл.6).

По степени накопления ТМ в основной продукции объекты исследований в нашем опыте можно расположить в следующем ряду: свекла < капуста < лук < картофель

Наиболее эффективными приемами по снижению накопления тяжелых металлов в растениях являются совместное применение NPK + ТМ + известь и NPK + ТМ + известь + навоз. Поэтому на почвах, загрязненных ТМ, необходимо более интенсивное использование агрохимических средств по кратности и дозе внесения, с учетом уровня содержания токсикантов.

ВЫВОДЫ

1. При сильной степени загрязнения почв ТМ в качестве детоксикационных мероприятий целесообразно проводить периодическое известкование, положительное действие которого усиливается внесением органических удобрений, что способствует снижению подвижности ТМ в 1,5- 4 раза.
2. При снижении кислотности почвенной среды до уровня рН 6,4 - 6,7 внесение извести в отдельности и в сочетании с навозом снижает фитотоксичность ТМ, что обуславливает получение урожая овощных культур выше, чем на незагрязнённой почве на контроле и на фоне NPK, прибавка составляет : у лука 315 и 99 г/сосуд, а у картофеля 286 и 55, у свёклы 229 и 78 г/сосуд соответственно.

3. Известкование почвы способствует закреплению ТМ в пахотном горизонте, чем препятствует поступлению их в растения и миграции в нижележащие горизонты: во всех вариантах по всем элементам, за исключением кадмия, получена экологически безопасная продукция. Превышение ПДК по кадмию наблюдалось по всем культурам, без извести оно составило 5-15 раз, на фоне извести 2 - 7 раз. Превышение ПДК по цинку было отмечено у лука и свеклы в 1,2-1,8 раза.
4. Применение повышенной дозы минеральных удобрений в условиях кислой почвенной среды усиливает угнетение растений от ТМ. При снижении кислотности до уровня рН 6,4 - 6,7 двойная доза НРК оказывает существенное детоксицирующее действие, способствует снижению накопления ТМ в зависимости от культуры в 1,5- 4,0 раз.
5. Наибольшее накопление ТМ отмечается в свекле, в меньшей степени в луке и капусте. Наиболее устойчивой культурой к накоплению ТМ является картофель. Максимальный вынос ТМ происходит с побочной продукцией. По величине накопления в растениях наиболее активным загрязнителем является кадмий, в наименьшей степени накапливается свинец.
6. Применение агрохимических средств на дерново-подзолистой почве, загрязненной ТМ, оказывает существенное влияние на состав и свойства органического вещества. При этом происходит изменение фракционного состава гумуса с возрастанием соотношения ГК:ФК от 0,95 до 1,08, наилучшим качественным составом характеризуется гумус вариантов, где вносили навоз на фоне извести.
7. Органические, минеральные и известковые удобрения и их сочетания на дерново-подзолистой почве, загрязненной ТМ, не только непосредственно инактивируют эти металлы, но и оказывают опосредованное протекторное действие на активность ферментов в почве.

8. Выявление чувствительности почвенных ферментов по степени угнетения их активности в дерново-подзолистой почве, загрязненной ТМ, позволило расположить их в следующий ряд: уреаза > инвертаза > фосфатаза.
9. При загрязнении почвы ТМ агрохимические приемы по степени протекторных свойств по отношению к активности ферментов уреазы и инвертазы можно расположить в следующий ряд : навоз + известь + NPK > известь + NPK > навоз + NPK > 2 NPK. На фоне «навоз + известь + NPK» для картофеля, свеклы, лука и капусты увеличение активности уреазы отмечалось соответственно в 2,0, 2,1, 1,9 и 2,6 раза по сравнению с контролем, активности инвертазы в 1,6 - 1,5 раза. По отношению к активности фермента фосфатазы (под всеми культурами) можно расположить в следующий ряд : 2 NPK > навоз + известь + NPK > известь + NPK > навоз + NPK, что связано с высокой положительной корреляцией между активностью фермента и содержанием фосфора в почве ($r = 0,85 - 0,91$).

СПИСОК

работ, опубликованных по теме диссертации

1. Комарова Н.А., Люботина В.А., Тужилина А.Р. Качество сельскохозяйственной продукции // Агрохимический вестник, 1997, № 3, с. 20-23.
2. Комаров В.И., Гришина А.В. Аканова Н.И., Шалашова Л.А., Комарова Н.А. Эколого-агрохимические изменения почв Владимирской области // Плодородие, 2003, № 4 (13), 2- 4 с.
3. Комаров В.И., Гришина А.В., Баринов В.Н., Иванова В.Ф., Комарова Н.А. Результаты исследований по разработке агрохимических приемов детоксикации почв, загрязненных тяжелыми металлами. // Бюлл. ВИУА №119 «Задачи научных учреждений Географической сети опытов с удобрениями и другими агрохимическими средствами по реализации Концепции и основных направлений развития агрохимии и агрохимического обслуживания сельского хозяйства РФ на период до 2010 г.», 2003, 84-87 с

4. Комаров В.И., Гришина А.В., Шалашова Л.А., Комарова Н.А. Результаты агроэкологического мониторинга на реперных участках Владимирской области // Плодородие, 2004, № 2 (17), 9-11 с.
5. Комарова Н.А., Гришина А.В., Комаров В.И., Шалашова Л.А. Экологотоксикологическая оценка состояния водных ресурсов Владимирской области // Владимирский земледелец, 2004, № 3 - 4, с. 37- 38.
6. Комарова Н.А., Комаров В.И., Шалашова Л.А. Ферментативная активность дерново-подзолистой супесчаной почвы при загрязнении ее тяжелыми металлами. В сб. статей «Агроэкологическая эффективность применения средств химизации в современных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур» . Тр. ВНИИА, М., 2005. с. 309-311.
7. Овчаренко М.М., Комарова Н.А. Агроэкологическая оценка приёмов детоксикации почв, загрязненных тяжелыми металлами // Агрохимический вестник, 2005, № 3, с. 2 - 5.
8. Комаров В.И., Комарова Н.А., Шалашова Л.А., Сазонова Е.И. Ферментативная активность дерново-подзолистой супесчаной почвы при загрязнении её тяжелыми металлами. // В сб.ст.: «Актуальные проблемы и перспективы развития АПК», Иваново ГСХА, 2005, т.1, с. 102-105.
9. Комаров В.И., Комарова Н.А., Шалашова Л.А., Гришина А.В., Сазонова Е.И. Трансформация фракционно-группового состава гумусовых кислот дерново-подзолистой супесчаной почвы в условиях загрязнения её тяжелыми металлами.//В сб. «Актуальные проблемы стабилизации почвенного плодородия и урожайность в Верхневолжье», М., ВНИИА, 2005, с. 33-36.